

Recovery Garam dari Air Konsentrat Reverse Osmosis Menggunakan Elektrodialisis

Iman D. Y. Yusuf, Sahat R. P. Ompusunggu, dan Arseto Y. Bagastyo
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: bagastyo@enviro.its.ac.id

Abstrak—Konsentrat *reverse osmosis* mengandung salinitas tinggi sehingga mempengaruhi ekosistem laut. Elektrodialisis merupakan salah satu alternatif pengolahan konsentrat *reverse osmosis*. Rapat arus, jumlah kompartemen, debit aliran dan jenis elektroda mempengaruhi efektifitas elektrodialisis dalam mengolah konsentrat *reverse osmosis*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas elektrodialisis dalam mengolah konsentrat *reverse osmosis* Produk samping yang dihasilkan yaitu *recovery* garam dan gas klor diteliti lebih lanjut. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan reaktor sistem *batch*. Variabel yang akan diuji adalah rapat arus, debit dan jenis elektroda. Platina digunakan sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda. Platina yang digunakan adalah pen bekas patah tulang. Luas efektif membran sebesar 200 cm². Uji karakteristik konsentrat *reverse osmosis* dilakukan untuk mengetahui parameter TDS, salinitas, pH, Cl dan nilai permanganat. Penelitian pendahuluan dilaksanakan untuk mengetahui waktu operasi optimal untuk melakukan penelitian utama. Parameter yang diuji pada setiap variasi adalah kandungan salinitas, pH, Cl total klorin dan nilai permanganat. Proses elektrodialisis dilakukan selama 36 jam pada masing-masing variasi. Rapat arus yang semakin besar maka persentase removal salinitas juga semakin besar. Hasil produk samping berupa garam terlarut dipengaruhi oleh rapat arus. Semakin besar rapat arus maka persentase garam yang didapat semakin besar, namun dengan variasi debit dan jenis elektroda hasil yang didapat relatif sama. Total klorin yang dihasilkan paling besar (505,7 mg/L) adalah pada debit 16 l/j dengan anoda perak. Pada rapat arus yang paling besar menghasilkan total klorin yang besar pula. Penggunaan perak sebagai anoda diketahui lebih baik untuk menghasilkan total klorin daripada menggunakan platina yaitu logam bekas penyambung tulang.

Kata Kunci—debit aliran, elektrodialisis, rapat arus, *recovery* garam, total klorin.

I. PENDAHULUAN

Air yang ada di bumi sebesar 96,5% terdapat pada laut, dan 1,7% berada dalam bentuk bongkahan es. Hanya sekitar 0,8% dapat dikatakan sebagai air tawar yang dapat diminum. Presentase sisanya terdiri dari air payau, air yang sedikit asin pada air permukaan, dan sebagai air tanah pada lapisan aquifer asin [1]. Kurangnya kuantitas air minum menyebabkan adanya pengolahan air agar dapat dimanfaatkan menjadi air minum. Salah satunya adalah menggunakan proses desalinasi, yaitu mengolah air asin menjadi air minum.

Desalinasi air laut dan air payau telah menjadi metode yang umum untuk mendapatkan air minum di seluruh dunia [2]. Menurut rujukan [3], produksi air bersih dari proses desalinasi di seluruh dunia mencapai sekitar 25.000.000 m³ setiap hari. Kategori pengolahan menggunakan proses desalinasi ada dua, yaitu menggunakan panas dan membran [1]. Unit pengolahan yang umum digunakan adalah Multi Stage Flash (MSF) dengan sistem pemanasan dan Reverse Osmosis (RO) dengan sistem membran.

RO saat ini merupakan teknik desalinasi yang paling banyak digunakan secara global [4], salah satunya di Indonesia. Unit pengolahan air minum menggunakan teknik desalinasi mengambil volume air laut yang besar dan membuang air dengan kadar garam tinggi masuk ke dalam badan air penerima yaitu laut. Air limbah yang dikeluarkan dari proses desalinasi menggunakan RO mempunyai kadar garam yang dibuang lebih tinggi daripada kadar garam atau salinitas di laut. Tipikal TDS (*Total Dissolved Solid*) limbah RO air laut adalah 65.000 – 80.000 mg/L [3].

Air buangan RO atau konsentrat RO berpotensi menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Kadar garam tinggi dan zat – zat pencemar yang mengandung logam berat dari konsentrat RO akan mempengaruhi habitat padang lamun, dan menyebabkan perubahan komposisi spesies organisme laut di sekitar area outlet. Organisme laut dapat menerima atau menolak kondisi lingkungan yang baru, dan yang mudah beradaptasi akan tersebar merata di area pembuangan limbah. Selain kadar garam yang tinggi, juga terdapat pencemar logam berat seperti besi, nikel, kromium akan tetapi kadarnya tidak dalam taraf berbahaya [3].

Dampak pencemaran yang terjadi diatas dapat diminimasi dengan pengolahan limbah desalinasi, seperti injeksi sumur dalam, kolam evaporasi, dan elektrodialisis [5]. Salah satu alternatif pengolahan limbah desalinasi RO adalah menggunakan elektrodialisis. Elektrodialisis (ED) adalah proses pemisahan berbasis membran pada unsur yang dapat terionisasi seperti garam dan asam yang berpindah lewat membran dari satu larutan ke larutan yang lain dengan bantuan arus listrik [6].

Menurut referensi [7], air bersih dan garam kasar dapat diambil kembali dari air konsentrat RO dengan menggunakan elektrodialisis. Kandungan salinitas yang tinggi pada

konsentrat RO berpotensi untuk dilakukan pengambilan garam kembali atau recovery garam. Selain pengambilan garam kembali, dengan proses elektrodialisis mampu menghasilkan gas klor (Cl_2). Gas klor yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai desinfektan ini merupakan sebuah hasil samping dari proses elektrodialisis [8].

Menurut referensi [9], faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja elektrodialisis antara lain adalah tegangan listrik, luas permukaan kontak, rapat arus dan konsentrasi limbah. Arus listrik mempengaruhi kinerja elektrodialisis dengan cara ketika arus listrik dilewatkan ke dalam sistem, ion – ion akan bergerak melewati membran penukar ion menuju elektroda yang memiliki muatan berlawanan dengan ion tersebut (hal yang sama seperti pada kompartemen diluar dari suatu sel elektrodialisis). Tingginya arus listrik menyebabkan tingginya rapat arus yang terjadi dalam satuan per luas membran sehingga proses pertukaran ion menjadi lebih cepat. Berdasarkan penelitian [10], pada rapat arus sebesar 1 mA/cm² - 9 mA/cm² didapatkan kondisi yang optimal untuk mengolah konsentrat reverse osmosis dengan efisiensi removal garam sebesar 81%. Sedangkan menurut referensi [11], semakin kecil debit maka penurunan TDS semakin besar.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka diperlukan kajian mengenai efektifitas dalam mengolah air konsentrat RO dengan elektrodialisis. Dalam penelitian ini, akan dikaji untuk mengetahui pengaruh rapat arus debit aliran dan jenis elektroda terhadap efektifitas proses elektrodialisis.

II. METODE PENELITIAN

Skala penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan dua tahap penelitian, yaitu persiapan penelitian dan penelitian utama. Pada persiapan penelitian dilakukan persiapan alat dan bahan serta penelitian pendahuluan untuk menentukan waktu operasi penelitian. Pada penelitian utama, dilakukan pengoperasian berdasarkan variasi yang telah ditetapkan. Variasi dalam penelitian ini adalah rapat arus, debit, dan jenis elektroda. Variasi jenis elektroda adalah elektroda yang mengalami proses oksidasi. Variasi rapat arus yang digunakan adalah 1 mA/cm²; 1,5 mA/cm²; 2 mA/cm² dan 2,5 mA/cm². Variasi debit yang digunakan adalah 16 liter per jam (lpj), 20 lpj, dan 22,5 lpj. Untuk variasi jenis elektroda yang digunakan adalah platina dan perak. Bahan platina yang digunakan berasal dari bekas logam penyambung tulang.

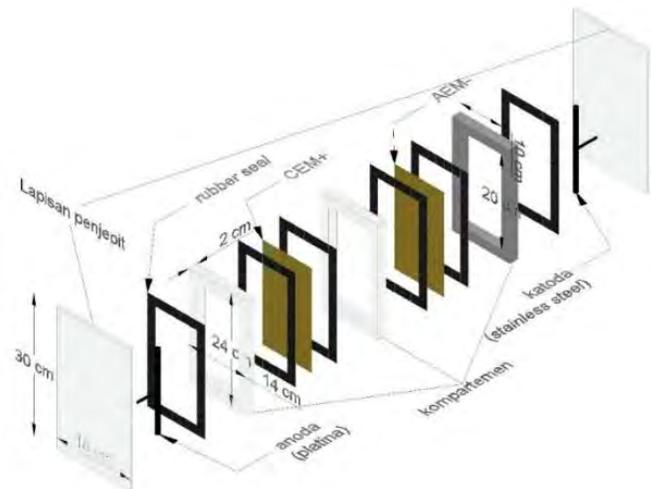
Sumber Air Konsentrat

Air konsentrat dalam penelitian ini berasal dari PLTU Tanjung Jati B Jepara dari air buangan unit *reverse osmosis*. Dilakukan pengukuran terhadap karakteristik awal air konsentrat dengan parameter salinitas, klorida, dan total klorin.

Reaktor Penelitian

Reaktor dalam penelitian ini terbuat dari bahan akrilik dengan dimensi panjang x lebar x tinggi adalah 30 cm x 14 cm

x 2 cm dengan reaktor didesain secara tertutup (Gambar 1). Tiga buah kompartemen yang digunakan dalam penelitian ini, Membran yang digunakan terdiri dari 2 buah, yaitu CEM (*cation exchange membrane*) dengan tipe AMI-7001 dan AEM (*anion exchange membrane*) dengan tipe CMI-7000. Dimensi masing-masing membran adalah 20 cm x 10 cm. Komponen reaktor lain adalah elektroda. Elektroda dalam penelitian ini terdiri dari 2 buah, yaitu elektroda yang mengalami oksidasi (anoda) dan elektroda yang mengalami reduksi (katoda). Bahan dari anoda terdiri dari platina dan perak yang merupakan variasi dari penelitian ini. Untuk bahan katoda terbuat dari bahan *stainless steel*. Komponen lain adalah tangki reservoir air baku, tangki reservoir akuades, DC *adjustable power supply* dengan arus maksimal 3 Ampere dan volatase maksimal 30 volt, serta pompa.



Gambar 1. Konfigurasi Reaktor

Pengoperasian reaktor dilakukan dengan mengalirkan air baku dari tangki reservoir menuju kompartemen anoda. Selanjutnya air akan dialirkan menuju kompartemen katoda lalu air akan kembali menuju tangki reservoir air baku. Dalam pengoperasian reaktor, air dari bak akuades dialirkan menuju kompartemen tengah dan kembali lagi ke bak akuades.

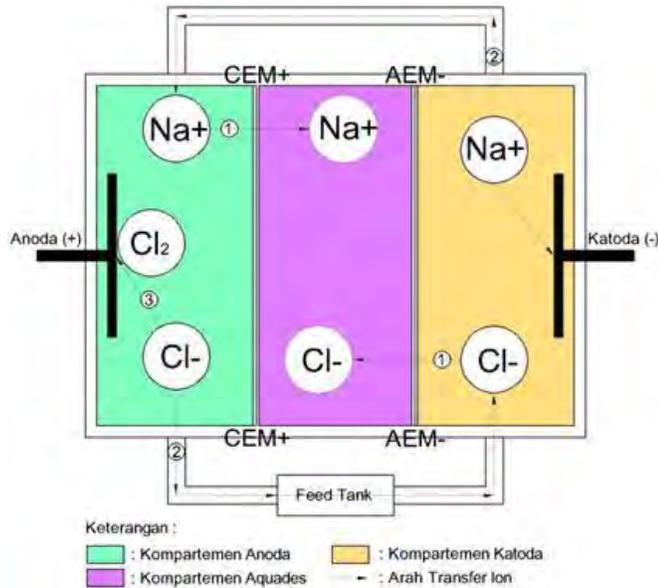
Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam 2 tahap, penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Pada penelitian pendahuluan, pengoperasian reaktor yang digunakan sama dengan penelitian utama. Pengoperasian reaktor adalah dengan mengisi tangki reservoir air konsentrat sebanyak 6 liter dan tangki akuades sebanyak 4 liter. Lalu menyalakan pompa dan mengatur debit aliran air konsentrat dengan variasi debit yang ditetapkan. Variasi debit dilakukan dengan mengatur *valve* yang keluar dari tangki reservoir air konsentrat. Selanjutnya menyambungkan kompartemen yang terbuat dari akrilik dengan DC *adjustable power supply*. Variasi rapat arus dilakukan dengan mengatur arus yang keluar dari DC *adjustable power supply*. Selain itu pada variasi jenis elektroda dilakukan dengan cara mengganti anoda platina

menjadi perak atau sebaliknya. Pada tiap operasi reaktor dibongkar dan anoda diganti sesuai variasi yang akan diuji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh rapat arus, debit, dan jenis elektroda dalam penurunan salinitas pada air konsentrat *reverse osmosis* yang merupakan air baku. Parameter yang diuji adalah salinitas, klorida, dan total klorin.



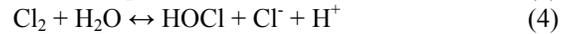
Gambar 2. Mekanisme Transfer Ion pada Reaktor Elektrodialisis

Pada penelitian ini digunakan tiga macam kompartemen, kompartemen anoda, katoda dan aquades. Setiap kompartemen mempunyai fungsi masing-masing dalam proses elektrodialisis. Dengan adanya kompartemen tersebut, kation dan anion mampu ditransfer dengan proses elektrodialisis. Jika diasumsikan kation dan anion yang berada pada air konsentrat RO adalah NaCl maka berdasarkan Gambar 2, diketahui proses yang terjadi pada reaktor penelitian elektrodialisis adalah :

1. Kation (Na⁺) bergerak menuju katoda dengan melewati membran CEM+, sedangkan anion (Cl⁻) bergerak menuju anoda dengan melewati membran AEM-. Kation tidak dapat melewati membran AEM- dan juga anion tidak dapat melewati membran CEM+.
2. Anion pada kompartemen anoda dan kation pada kompartemen katoda yang masih tersisa selain tertangkap elektroda, ion tersebut dialirkan ke kompartemen anoda maupun katoda. Proses ini bertujuan agar kation dan anion berpindah ke kompartemen yang lain melalui aliran air sehingga mampu dilakukan proses transfer ion.
3. Anion pada kompartemen anoda yang tertangkap anoda bereaksi terhadap proses oksidasi yang terjadi pada anoda, sehingga anion (Cl⁻) teroksidasi menjadi (Cl₂)

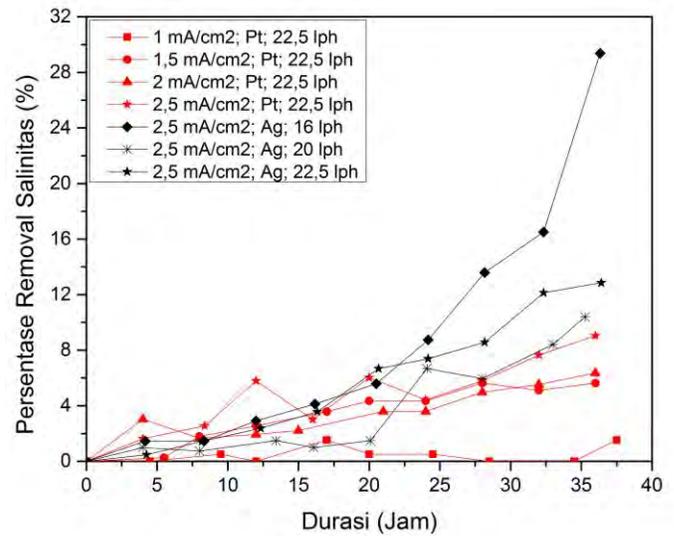
Berdasarkan hal tersebut, maka reaksi yang terjadi pada masing-masing kompartemen adalah:

1. Katoda : $2e^- + 2H_2O \rightarrow H_2 (g) + 2OH^-$ (1)
2. Anoda : $H_2O \rightarrow 2H^+ + \frac{1}{2} O_2 (g) + 2e^-$ (2)



Removal Salinitas dan Klorida

Pada Gambar 3, nilai persentase removal salinitas yang tertinggi, yaitu pada debit 16 lph dengan anoda perak. Hal tersebut diakibatkan dari waktu detensi yang diberikan adalah waktu detensi yang terbesar dibandingkan dengan varias debit yang lain. Hasil removal salinitas salinitas tertinggi dengan nilai debit terkecil sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [10]. Pada penelitian tersebut, semakin kecil debit yang digunakan, maka persentase removal akan semakin besar.



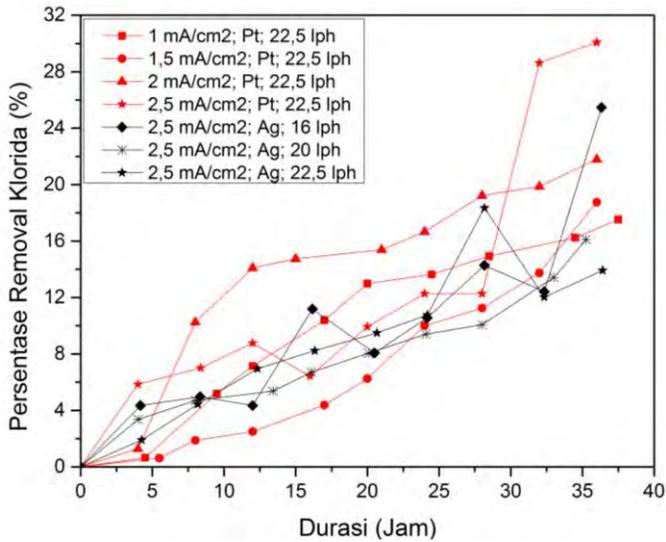
Gambar 3. Persentase Removal Salinitas

Pada rapat arus paling besar yaitu 2,5 mA/cm², persentase removal salinitas juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan referensi [7], yang menyatakan bahwa semakin besar rapat arus maka perpindahan ion juga semakin cepat. Semakin cepat ion berpindah maka persentase removal juga semakin besar. Pada variasi rapat arus, hasil removal terbesar adalah 9,05%. Dengan bahan anoda yang berbeda yaitu platina dan perak terdapat perbedaan hasil removal salinitas. Removal salinitas menurut Gambar 3 yang terbaik adalah menggunakan perak sebagai anoda.

Klorida yang terdapat di dalam air baku dapat terremoval dengan mengalami oksidasi menjadi gas klor atau berpindah melewati *anion exchange membrane*. Berpindahnya anion diakibatkan arus listrik yang diberikan oleh sumber arus. Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin kecil debit yang digunakan, maka nilai removal klorida semakin kecil. Hal tersebut diakibatkan kandungan klorida yang terdapat di dalam air baku dioksidasi menjadi gas klor. Debit yang semakin kecil, maka waktu detensi akan semakin besar, maka waktu untuk mengoksidasi klorida menjadi klorin akan semakin besar.

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar rapat arus maka semakin besar persentase removal klorida. Removal klorida terbesar pada variasi rapat arus terdapat pada 2,5

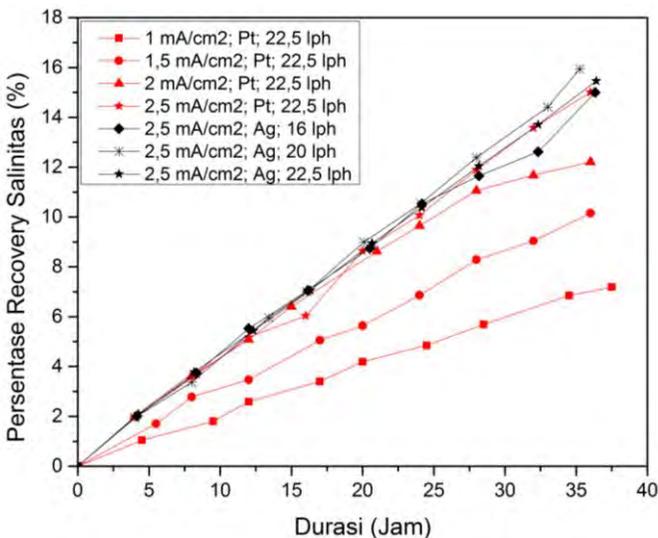
mA/cm² yaitu sebesar 30,07%. Sedangkan untuk penggunaan platina dan perak sebagai anoda tidak terlihat jelas perbedaannya.



Gambar 4. Persentase Removal Klorida

Hasil Recovery Garam dan Total Klorin

Hasil produk samping dari penelitian kali ini adalah garam terlarut dan *total chlorine*. Garam terlarut didapatkan melalui proses *recovery*. Proses *recovery* air terkonsentrasi garam dari proses elektrodialisis dilakukan untuk mendapatkan garam yang terpisah dari air limbah RO. Proses ini terjadi karena pertukaran kation dan anion yang terkumpul pada kompartemen yang berisi aquades untuk tempat penukaran ion. Penentuan nilai *recovery* adalah perbandingan antara konsentrasi salinitas akuades yang dikalikan dengan volume larutan akuades dengan konsentrasi salinitas air baku yang dikalikan volume air baku. Pada penelitian kali ini *recovery* garam ditentukan dengan parameter salinitas. Salinitas merupakan ukuran "rasa asin" atau konsentrasi garam pada air atau tanah. Sehingga besar konsentrasi garam sama dengan besar konsentrasi salinitas [12].

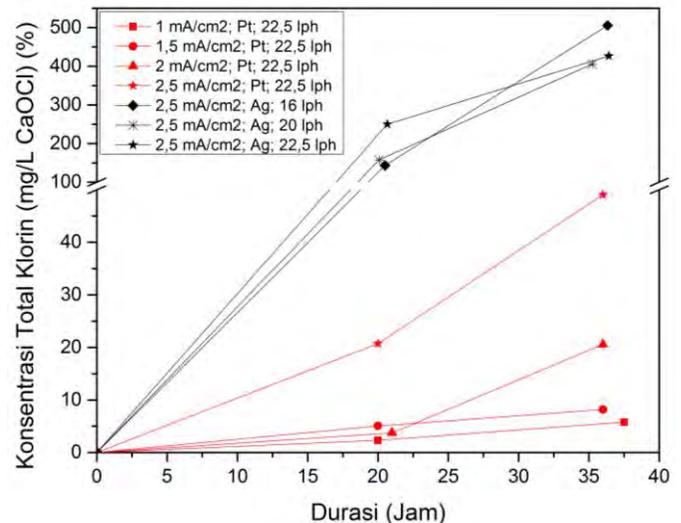


Gambar 5. Persentase Recovery Salinitas

Pada Gambar 5, nilai *recovery* salinitas pada penelitian ini memiliki nilai relatif sama. Nilai tersebut terjadi pada variasi debit 16-22.5 liter per jam dan dengan anoda yang berbahan dasar platina dan perak. Hal tersebut diakibatkan oleh rapat arus yang digunakan adalah konstan, yaitu 2,5 mA/cm². Sedangkan pada variasi rapat arus, semakin besar rapat arus maka semakin besar pula *recovery* garam yang dihasilkan. *Persentase recovery* garam terbesar adalah pada rapat arus 2,5 mA/cm² yaitu 15%. Menurut referensi [10], migrasi atau perpindahan ion disebabkan oleh efisiensi arus yang digunakan untuk memindahkan ion. Nilai *recovery* salinitas adalah berdasarkan kandungan terbesar yaitu senyawa klorida (Cl⁻) yang disusul oleh natrium (Na⁺), yang selanjutnya sulfat, magnesium, dan senyawa lain [13].

Hasil produk samping lainnya adalah gas klor (Cl₂) yang diukur sebagai *total chlorine*. Asam hipoklorit, hipoklorit, monokloramin, kloramin, trikloramin, gas klor adalah kandungan yang diukur pada analisa *total chlorine*. Pada kompartemen anoda terjadi proses oksidasi yang menyebabkan ion Cl⁻ teroksidasi menjadi Cl₂ [8], yang dapat dilihat pada persamaan 3 dan 4.

Adanya gas klor dapat ditandai dengan munculnya bau seperti kaporit pada kolam renang yang terjadi di reaktor uji. Menurut Deborde dan Gunten (2008), menyebutkan bahwa reaktifitas klorin tergantung pada kondisi pH larutan. Pada pH < 3, gas klor lebih banyak dihasilkan dibanding senyawa klorin yang lain. Akan tetapi pada penelitian ini pH larutan pada kompartemen anoda paling rendah hanya mencapai 3,2. Pada rentang pH 3-7,5 klorin yang dihasilkan kebanyakan adalah asam hipoklorit (HOCl), meskipun gas klor dapat terbentuk tetapi dalam kandungan yang kecil. Gas klor akan bereaksi dengan ion organik maupun inorganik sehingga menjadi senyawa klorin yang lain.



Gambar 6. Konsentrasi Total Klorin Hasil Elektrodialisis

Pada Gambar 6, total klorin yang dihasilkan pada debit 16 lph adalah yang tertinggi yaitu sebesar 505,7 mg/L. Hal tersebut diakibatkan dalam debit 16 lph, waktu detensi yang digunakan adalah yang terbesar [10]. Waktu detensi yang

besar mengakibatkan waktu oksidasi semakin lama dan total klorin yang dihasilkan akan semakin besar.

Rapat arus yang semakin besar mempengaruhi proses oksidasi sehingga total klorin yang dihasilkan juga semakin besar. Sedangkan penggunaan perak sebagai anoda menunjukkan hasil total klorin yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena perak bersifat inert dibanding dengan anoda platina yang merupakan bekas logam penyambung tulang. Dengan anoda yang bersifat tidak inert, maka proses oksidasi lebih banyak mengoksidasi logam anoda daripada mengoksidasi klorida dalam larutan.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa semakin besar rapat arus maka removal salinitas juga semakin besar. Penggunaan debit yang kecil menghasilkan removal salinitas yang lebih besar. Jenis elektroda tidak terlihat perbedaan yang jauh dalam menurunkan kadar salinitas. Hasil produk samping berupa garam terlarut dipengaruhi oleh rapat arus. Semakin besar rapat arus maka persentase garam yang didapat semakin besar, namun dengan variasi debit dan jenis elektroda hasil yang didapat relatif sama. Total klorin yang dihasilkan paling besar (505,7 mg/L) adalah pada debit 16 l/j dengan anoda perak. Pada rapat arus yang paling besar menghasilkan total klorin yang besar pula. Penggunaan perak sebagai anoda diketahui lebih baik untuk menghasilkan total klorin daripada menggunakan platina yaitu logam bekas penyambung tulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada PLTU Tanjung Jati B Kabupaten Jepara yang telah memberikan ijin untuk proses penelitian, serta pihak-pihak yang banyak memberikan bantuan, dukungan dan masukan selama proses penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., dan Moulin, P. 2009. "Reverse Osmosis Desalination: Water Sources, Technology dan Today's Challenges". *Water Research* 43 (9), 2317-2348.
- [2] Jeppesen, T., Shu, L., Keir, G., dan Jegatheesan, V. 2009. "Metal Recovery from Reverse Osmosis Concentrate". *Journal of Cleaner Production* 17, 703-707.
- [3] Lattemann, S., dan Höpner, T. 2008. "Environmental Impact and Impact Assessment of Seawater Desalination". *Desalination* 220, 1-15.
- [4] Lee, K. P., Arnot, T. C., dan Mattia, D. 2011. "A Review of Reverse Osmosis Membrane Materials for Desalination—Development to Date and Future Potential". *Journal of Membrane Science* 370, 1-22.
- [5] Jeppesen, T., Shu, L., Keir, G., dan Jegatheesan, V. 2009. "Metal Recovery from Reverse Osmosis Concentrate". *Journal of Cleaner Production* 17, 703-707.
- [6] Praneeth K., Manjunath D., Suresh K., Bhargava, James Tardio, dan Sridhar S. 2013. "Economical Treatment of Reverse Osmosis Reject of Textile Industry Effluent by Electrodialysis-Evaporation Integrated Process". *Desalination* 333, 82-91.
- [7] Jiang, C., Wang, Y., Zhang, Z., dan Xu, T. 2013. "Electrodialysis of Concentrated Brine From RO Plant to Produce Coarse Salt and Freshwater". *Journal of Membrane Science*, 450, 323-330.

- [8] Pretz, J., Korngold, E., dan Kedem, O. 1999. "A-Chlorine Free Anode for Electrodialysis". *Separation and Technology* 15, 147-152.
- [9] Sutrisna, P. D. 2002. "Bipolar Membrane Electrodialysis : Teknologi Atraktif untuk Produksi Asam dan Basa". Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya.
- [10] Zhang, Y., Ghyselbrecht, K., Vanherpe, R., Meeschaert, B., Pinoy, L., dan Van der Bruggen, B. 2012. "RO Concentrate Minimization by Electrodialysis: Techno-Economic Analysis and Environmental Concerns". *Journal of Environmental Management* 107, 28-36.
- [11] Astuti, U., P. 2014. "Pengolahan Air Payau Menggunakan Elektrodialisis dan Ozon". Tesis. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [12] Talley, D. M. dan Talley, T. S. 2008. "Salinity : Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences". Elsevier.
- [13] Ingmanson, Dale., E. dan Wallace, William., J. 1985. "Oceanography: an Introduction". Wadsworth Publishing Company. Belmont, California.
- [14] Deborde, M. dan Gunten, U. 2008. "Reactions of Chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment-Kinetics and Mechanisms: A Critical Review". *Water Research* 42, 13-51.